

LA FORMACIÓN DE COMPETENCIAS CIENTÍFICAS DESDE DOS VISIONES DEL ALUMNO

Nicolás Marín¹

Carlos Uribe²

Resumen:

Una vez tomada una posición decidida en el complejo espacio conceptual constituido por las múltiples definiciones de competencia, se analiza cómo se perciben las competencias desde dos perspectivas teóricas que han sido usadas con frecuencia en la literatura de Didáctica de las Ciencias, tanto para conceptualizar al alumno como para abordar el problema de la formación de competencias en el aula: "el alumno como científico" y "el alumno como constructor de significados". Aunque cada visión ofrece elementos para enriquecer el actual debate teórico sobre el currículo en ciencias, se muestran las ventajas didácticas del segundo frente al primero.

Palabras clave: competencias científicas, alumno como científico, alumno como constructor de significados, constructivismo orgánico

LA FORMACIÓN DE COMPETENCIAS CIENTÍFICAS DESDE DOS VISIONES DEL ALUMNO

Introducción

El currículo basado en competencias viene a responder principalmente a las actuales demandas socio-económicas, así como en otro tiempo la revolución industrial requirió pericias y conocimientos para el manejo de las máquinas. Ahora se requiere sobre todo capacidad de decisión, autonomía, flexibilidad ante demandas cambiantes, trabajo en equipo, etc. Las nuevas tendencias curriculares se centran en la formación y evaluación de competencias, tanto genéricas – entendidas como las que se han de poseer sean cuales sean los papeles que se desempeñen en la vida social y económica-, como específicas –las que permiten desempeñar idóneamente dichos papeles, y en especial los del ámbito laboral (Delors, 1996; Morín, 2001; OCDE, 2008).

Aunque la implementación del currículo por competencias en la vida académica de las aulas ha sido débil, cada día el tema está tomando mayor relevancia, como lo demuestran las evaluaciones internacionales de gran envergadura como PISA, cuyo objetivo es la competencia científica, definida de manera amplia (OCDE, 2009).

En el área de Didáctica de las Ciencias (DC), el currículo por competencias se ha abordado de diversos modos. Este trabajo evalúa las posibilidades y limitaciones de dos perspectivas para abordar el desarrollo de las competencias científicas en el aula según qué modelo teórico del alumno se adopta: o "como científico" (AcC) o "como constructor de significados" (AcS).

Para ello, se comenzará, en primer lugar, clarificando la noción de competencia, y en particular, qué contenidos de ciencias deben ser considerados y qué requisitos básicos de enseñanza son necesarios para fomentar competencias científicas. Una vez posicionados ante la diversidad actual de definiciones, se caracterizan dos tendencias, AcC y AcS, desde sus posiciones ontológicas y

¹ Doctor en Ciencias, Universidad de Granada, 1994, Universidad de Almería; Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales. nicolas.marin@gmail.com

² Doctor en Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Las Matemáticas Universidad De Barcelona, Departamento de Ciencias Universidad del Valle. Curibe55@gmail.com

epistemológicas para, a continuación, evaluar sus debilidades y fortalezas. Se concluye el trabajo con una reflexión sobre el mejor modo de fomentar competencias en el aula de ciencias.

Aclaraciones sobre la noción de competencia. Posicionamiento

Al definir "*competencia*" es usual aludir de alguna manera a la acción exitosa, adecuada o efectiva de una persona para desarrollar una actividad en un ámbito concreto. Éste puede ser deportivo, técnico, docente, artístico, etc., etc. Cuando el término se refiere al ámbito de ciencias, o a su enseñanza en entornos académicos, entonces se habla de "*competencias científicas*". Pero no es sencillo definir "*competencia*": basta considerar la gran diversidad de definiciones en Internet y en la literatura (Tobón, 2006). Y es que las dudas aparecen apenas se quiere profundizar en cualquier significante de la definición, por ejemplo, cuando se quiere precisar cómo se evalúa la "*acción exitosa, adecuada o efectiva*".

Para lo que se pretende en este trabajo, sobre la noción de competencia, es preciso diferenciar formalmente dos planos: el *plano externo al sujeto* definido por el contexto práctico y específico donde se da la demanda que exige una respuesta del sujeto, y el plano definido por el *interior del sujeto* donde están ubicadas sus características biológicas, cognitivas y afectivas y desde donde aflora el "actuar competente". Véase más detalles sobre estos dos planos:

- ***Plano externo al sujeto.*** No se es competente para todos los ámbitos. Se puede ser muy competente en un ámbito y poco en otro. La competencia no es una cualidad intrínseca al sujeto, pues es relativa al tipo de demanda externa concreta. Igual que cualquier ser vivo no puede ser competente ante la diversidad de nichos ecológicos donde se dan interacciones por la supervivencia, una persona no puede ser competente ante la diversidad de contextos prácticos donde se pueden manifestar competencias. Así pues, siempre existirá algún contexto práctico para el que una persona "*usualmente competente*" deje de serlo y ante el cual pudiera manifestarse como competente una persona que usualmente la sociedad lo considera "*incompetente*". Del mismo modo que un excelente científico siempre encontrará nuevos problemas para los que no tenga respuesta o manifieste reacciones de ensayo y error propias del medio más cotidiano. La competencia es relativa al contexto de valores sociales donde se da el resultado de la acción competente. Se es competente solo si el resultado del «actuar competente» es reconocido socialmente.
- ***Plano ubicado en el interior del sujeto.*** La competencia no es algo potencial sino algo que usualmente se manifiesta en un contexto práctico concreto de forma reiterada. Las cualidades internas del sujeto son necesarias pero no suficientes. No se puede asignar a las características intrínsecas de una persona (biológicas, afectivas y cognitivas) un grado de competencia concreto, puesto que ésta se pone de manifiesto en situaciones específicas y ante una demanda concreta externa al sujeto, que le exige alcanzar determinados resultados valorados socialmente. En general, el sujeto puede poner de manifiesto su actuar competente porque es poseedor de unas determinadas características cognoscitivas (saberes y habilidades), afectivas (motivaciones, actitudes, rasgos de personalidad), psicomotrices (hábitos, destrezas) y físicas, que son las adecuadas ante una determinada demanda externa. La actuación competente requiere desde luego la presencia de estas características del sujeto pero éstas no son suficientes; sólo lo será cuando ofrezca de hecho los logros esperados, cuya consecución requiere también de recursos instrumentales y materiales adecuados.

El plano donde se dan dichas características intrínsecas al sujeto no debería confundirse con el plano donde afloran sus competencias. Mientras éste se refiere a conductas y se puede evaluar, el otro es intrínseco al sujeto y, puesto que es inobservable, depende en buena medida del modelo o concepto que se tenga del sujeto. En este trabajo se mostrará que el modelo que se elija para

representar el interior del sujeto es determinante para precisar que se entiende por competencia y cuál sería el modelo de enseñanza óptimo para fomentarla. También la relación causal que se pueda establecer entre ambos planos dependerá de esa conceptualización. Para precisar más aún la noción de competencia que aquí se manejará, se define un nuevo constructo denominado "*zona de interacción competente*" (ZiC):

- ZiC es un constructo que se ubica justo entre los planos "interior-exterior del sujeto". Su utilidad más inmediata es ayudar a mantener en mente las diferencias entre ambos planos, a fin de no caer en las confusiones usuales que se dan al definir competencia. ZiC es coherente con las acotaciones realizadas más arriba sobre la definición de competencia. Así, diferimos con los que "ven" la competencia en el plano interior, el plano del conocimiento, pues esto llevaría a ver muy competente al sujeto con muchos conocimientos declarativos y con pocos recursos procedimentales; sin embargo, las competencias están ligadas, no tanto al conocimiento que se dice tener, sino al "conocimiento en acción", el que posee suficiente carga procedimental para permitir actuar adecuadamente, desplegándose en contextos prácticos ante un problema y ofreciendo resultados (Pozo & Pérez Echeverría, 2009).
- ZiC enfatiza la importancia tanto de factores internos como externos al agente para que se dé el acto competente. ZiC es la zona donde es posible observar o evaluar el actuar competente. El resultado del actuar competente puede verse modificado sustancialmente, según los recursos instrumentales disponibles, la intencionalidad que anime la interacción, y lo que sería más importante, las personas presentes en dicha zona, pudiendo aparecer entonces *la sinergia al actuar en grupo*. Aunque el actuar competente del sujeto va a depender en última instancia de sus propias decisiones, no cabe duda que éste es sensible al contexto donde se ejecuta y, no solo porque se verá modificado por la presencia de los demás, sino porque el resultado de la acción dependerá de la participación y coordinación con los demás. En este sentido es pertinente, sobre todo en actividades sociales, considerar también el "*actuar competente colectivo*" donde los resultados no se pueden explicar únicamente por el actuar competente de cada sujeto sino por la coordinación, *sinergia* e implicación de los que desarrollan la tarea, que hacen actuar al grupo como una entidad orgánica de forma que la suma del actuar competente individual no explicaría dichos resultados (Gallego, 2000).

Algo que no puede pasar desapercibido es el carácter estable de la competencia: el sujeto que sabe ejecutarla, la mantiene en el tiempo a pesar de la diversidad de casuísticas que se pueden dar. Aunque se insiste en no confundir las características internas al sujeto con las competencias que pudieran derivarse, sí que es cierto que la estabilidad es una consecuencia del carácter permanente de las características biológicas, cognitivas y afectivas intrínsecas al agente. Una competencia se mantiene en el tiempo; así, el tenista la mantiene durante unos años y su puesto en el ranking permite prever sus resultados; el buen docente es evaluado positivamente por sus alumnos año tras año. Esta capacidad de actuación se puede precisar con tres observables:

- *Repetición*: Ante situaciones semejantes la reconocida competencia del sujeto se ejecuta con resultados parecidos una y otra vez. Siguiendo con el ejemplo de nuestro tenista, siempre que le viene la bola a la derecha, siempre ejecuta el golpe con la misma pericia. Similarmente, un abogado litigante excelente percibe e implementa en cada nuevo caso la estrategia legal adecuada.
- *Generalización*: Ante la diversidad de variaciones del contexto en el escenario donde se ubica la competencia, el sujeto que la posee sabe responder con resultado también exitoso, e incluso será capaz de afrontar desafíos cada vez mayores, llegando a mayores niveles de competencia.
- *Diferenciación*: Se refiere a la adecuación o acomodación de la competencia ante situaciones o circunstancias novedosas que aparecen inesperadamente en el escenario práctico donde se da el actuar competente del sujeto. Ante la circunstancia adversa que la bola cambie bruscamente

su trayectoria al rozar la red cayendo al otro lado con un bote apagado, el tenista sabe poner en juego en un instante todo un despliegue de recursos físicos y técnicos para recoger la bola antes de dar dos botes en su campo.

Desde luego, la estabilidad del actuar competente no significa que en determinados casos pueda no darse. En casos excepcionales el problema puede aparecer con un nuevo factor que el sujeto no controla suficientemente. En ocasiones, saber diferir u omitir puede ser una "actuación competente". Igualmente, hay diferentes grados del actuar competente. Como se puede ver la complejidad del constructo competencia es muy alta, y aquí sólo hemos trazado un bosquejo.

¿Qué contenidos de ciencias hay que considerar para llegar a ser científicamente competente?

Del mismo modo que se deben acondicionar los contenidos específicos de ciencias a los distintos niveles educativos del ámbito académico –transposición didáctica–, se debe proceder con las competencias científicas. Ahora bien, la adecuación de éstas a cada nivel educativo dependerá en buena medida de cómo se ponderen en el currículo los criterios disciplinares frente a los ligados al aprendizaje, por ejemplo su desarrollo cognitivo y afectivo, sus conocimientos previos, etc. (Jiménez-Aleixandre & Sanmartí, 1997; Xxxx, 2005). Existen tres escenarios y ámbitos donde se pueden dar competencias científicas y cuyas diferencias sería necesario considerar para realizar esta "transposición didáctica" (Xxxx, 2012):

- *Competencias que se dan en los escenarios donde se construye el conocimiento científico.* Son las ligadas a los distintos contextos en los cuales se construye o se utiliza este conocimiento: contexto de descubrimiento ligado a la actividad del científico, contexto de interacción entre ciencia privada y social, contexto de interacción entre ciencia, tecnología y sociedad y contexto de justificación (Xxxx, 2003a). Estas competencias son el referente básico que habrá que tener en cuenta para diseñar cualquier lista de competencias científicas escolares.
- *Competencias previas del alumno.* Son aquellas que ha desarrollado el alumno fruto de su interacción con su entorno cotidiano y académico. Es importante considerar y delimitar estas competencias para evitar fomentar competencias que queden lejos del nivel cognitivo del alumno. Desde la perspectiva AcS se ha mostrado que los contenidos que pueden fomentar competencias, sobre todo los procedimentales, no pueden adquirirse sin que exista una estructura cognitiva con un cierto nivel mínimo de desarrollo (Inhelder, Sinclair, & Bovet, 1974; Shayer & Adey, 1984).
- *Competencias científicas académicas.* Son las que en última instancia se desean fomentar en el aula, y a las que apunta PISA. Estas competencias están relacionadas con la educación tecnocientífica del alumno para un mejor desenvolvimiento en la sociedad actual, y con valores personales y sociales; a nivel universitario incluye otras competencias específicas de carácter profesional. (Hernández, 2005).

En general, los estudios sobre competencias enfatizan como relevante la distinción entre los conocimientos procedimentales más generales, por ejemplo el control de variables, y los conocimientos declarativos más específicos relativos a la demanda externa (Pozo & Pérez Echeverría, 2009). Trabajos que han tenido como objeto de atención la adquisición de *competencias científicas académicas*, como es también el objeto de éste, convergen en admitir que no basta centrarse en la enseñanza de los contenidos específicos de ciencias, es preciso fomentar también aspectos generales de la cognición, principalmente ligados a lo procedimental, al grado de abstracción de los contenidos o a los procesos metacognitivos (Barba & Rubba, 1993; Lavoie, 1993; Lawson, 1993a; Xxxx, 1999; Mayer, 1986; Niaz, 1989; Pomes Ruiz, 1991; Pozo & Pérez

Echeverría, 2009; Pozo & Postigo, 1994; Shayer & Adey, 1984; Yalile Sánchez, 2007). Sin entrar ahora en detalles, se podría afirmar:

- *Sobre adquisición de contenidos específicos de enseñanza:* no basta con que sean memorizados o comprendidos internamente por el aprendiz, sino que es necesario que sean integrados en los conocimientos previos del alumno y sean dotados de una buena carga procedimental para garantizar su utilización en la resolución de problemas y su transferencia (Xxxx, 2005; Pozo & Gómez Crespo, 1998), usualmente al futuro entorno profesional. Es preciso ir más allá de la adquisición conceptual de un contenido únicamente a través de sus significantes, hacia una enseñanza que entrelace lo conceptual y lo procedimental (Coll, 1992). Por ejemplo, en lo que se refiere a la adquisición de conceptos científicos clasificatorios como la taxonomía biológica, este entrelazamiento permite al estudiante trabajar el aspecto extensional de los conceptos, sus referentes concretos, y el aspecto intensional o la comprensión. Atender a la diversidad de referentes de los conceptos requiere mayor tiempo de aprendizaje. Conviene tener en cuenta que el significado que puede asignar el aprendiz a un determinado concepto no es cuestión de todo o nada sino de grados (Oliva, 1999; Pozo, 1996). De cualquier contenido específico siempre es posible aprender algo más, tanto a nivel declarativo (relación con otros conceptos) como procedimental (vínculos de los conceptos con sus referentes concretos normalmente a través de la acción o con otros conceptos).
- *Sobre adquisición de contenidos procedimentales.* Además de la enseñanza procedimental específica que se debería desplegar junto con los contenidos específicos académicos o declarativos, sería preciso dedicar tiempo de enseñanza para desarrollar en el sujeto determinados contenidos procedimentales más generales, cuya adquisición le aporte al aprendiz herramientas cognitivas necesarias para reflexionar, controlar y ejecutar mejor su conocimiento (metacognición) (Karmiloff-Smith, 1994; Piaget, 1976; Pozo, 2003), para mejorar sus interacciones con el medio usando procedimientos hipotético-deductivos (Piaget, 1977), para procesar la información de un modo más eficiente (Case, 1983; Pascual-Leone, 1983; Rumelhart & Ortony, 1982). Si enseñar contenidos específicos, en general, es difícil (Pozo et al., 2006), la adquisición de los contenidos procedimentales es aún más y, consecuentemente, las estrategias de enseñanza son más exigentes pues deben de mantenerse coherentemente en plazos de tiempos largos y aplicadas en una diversidad amplia de contenidos específicos (Xxxx, 2005).

Por las razones dadas anteriormente, se puede afirmar que fomentar competencias científicas en el alumno requiere el despliegue de una enseñanza muy exigente para el docente (Xxxz, Quintero, & Rodríguez, 2006) que debe mostrar competencias docentes excepcionales.

Por otro lado, las condiciones de enseñanza para fomentar *competencias científicas* son semejantes a las que se deben plantear en la enseñanza de los contenidos procedimentales, la resolución de problemas y en los intentos de "aprender a pensar" del alumno, dado que requieren potenciar los mismos constructos mentales o la creación de nuevas estructuras mentales que no posee el alumno (Xxxx, 2012).

En general, delimitar el término competencia, fijar la lista de competencias científicas o el modo de enseñar éstas, dependerá en buena medida del contexto teórico que se use para conceptualizar el plano donde se modeliza al sujeto, así como su diferenciación con el plano donde se dan las competencias. En efecto, no será lo mismo abordar estos problemas desde la perspectiva del escenario donde se construye el conocimiento de ciencias o desde la perspectiva del sujeto que construye la competencia y, dentro de este punto de vista, si se usa para entender al sujeto un modelo mecanicista u organicista (Xxxx, 2003b; Mayer, 1986; Pozo, 2003).

Fundamentos ontológicos y epistemológicos de modelos de enseñanza. Contexto teórico

Para que el acto de enseñar se pueda dar, debe estar presente el núcleo bipolar "*contenido de ciencias a enseñar – aprendiz de ciencias*", la ausencia de uno de los dos polos impide dicho acto; no así la ausencia de otros factores. Si las posiciones epistemológicas más extremas del empirismo y del racionalismo muestran grandes diferencias entre los conocimientos implicados en la enseñanza de las ciencias, las posiciones más moderadas del constructivismo han dejado entrever importantes semejanzas funcionales (Xxxx, 2003a). En la enseñanza de la ciencia existen diferentes posiciones que básicamente, atendiendo a sus posiciones ontológicas y epistemológicas frente a los *conocimientos de ciencias (contenido a enseñar) y del alumno (aprendiz)* se pueden reducir a dos (Xxxx, 2011):

Modelos de enseñanza AcC.

Es la tendencia más difundida en el ámbito de Didáctica de las Ciencias (DC). En estos modelos se percibe importantes *analogías* entre los conocimientos de ciencias y los del alumno. Este modo de proceder se ha denominado analogía o metáfora de "*el alumno como científico*" (AcC) (Claxton, 1994; Driver, 1983; Solomon, 1994; Yang, 1999) lo que ha supuesto un transvase mayoritario de constructos teóricos y mecánicas constructivas en la dirección ciencia – alumno y apenas en la dirección contraria (García, 2006; Piaget & García, 1982).

Un estudio sobre el estado de la investigación en DC pone de manifiesto que solo aproximadamente un tercio de los trabajos AcC se desarrollan comprometidos con fundamentos teóricos tomados de la historia y filosofía de la ciencia (HFC), mientras el resto carece de compromisos o éstos son muy superficiales (Xxxx, 2012; Xxxx, 2010).

Los principios ontológicos AcC están enraizados con la afirmación "*existen importantes semejanzas en la construcción de los conocimientos de ciencias y del alumno*" (Jiménez-Aleixandre, 2000). Esta analogía suele usar constructos propios para describir o interpretar el conocimiento de ciencias como: *concepto, cambio conceptual y teoría* para describir y conceptualizar propuestas teóricas del AcC en el plano de la enseñanza de ciencias (Xxxx, 2012), por lo que el modelo de alumno que se maneja, respecto a otros más respetuosos con datos psicológicos, es más racional y lógico, más declarativo y explícito (Pintrich, 1999; Pozo, 2003).

El esfuerzo coordinado de expertos de DC sobre las diferentes temáticas de HFC ha llevado a importantes consensos (Xxxx, 2011) sobre la visión adecuada para interpretar el conocimiento de ciencias que en síntesis asume afirmaciones, tales como: a) la ciencia se construye en una dinámica de constante confrontación entre construcciones racionales y datos empíricos; b) los datos por estar cargados de teoría no pueden ser decisivos como los percibe el empirismo; c) el valor de la ciencia no es porque sea verdad sino porque es útil o d) la ciencia que se va construyendo depende de los problemas de cada momento histórico. La fortaleza de AcC la toma al fundamentarse en una visión epistemológica de las ciencias adecuada.

Modelos de enseñanza AcS

Bastante menos usual pero también relevante en el ámbito, existe otro modo de argumentar que resalta las *diferencias* entre el conocimiento de ciencias y el del alumno, para hacer notar que las diferencias son tanto o más acusadas que las analogías, lo que debería ser motivo para revisar los modelos para la enseñanza de las ciencias del AcC (Xxxx, 2003a; Pozo & Gómez Crespo, 1998; Reif & Larkin, 1991).

En efecto, ahora la unidad básica de la estructura cognitiva es el *esquema* que se adapta mejor a los datos psicológicos que los constructos *concepto* o *teoría* (Xxxx, 2012). El *esquema de conocimiento* tiene la doble función de ser acumulador orgánico y regulador adaptativo de las

interacciones entre sujeto y medio. La entidad ontológica del *esquema* se basa en la analogía del conocimiento como órgano vivo, con cualidades adaptativas y autorreguladoras semejantes; aunque sus cualidades cognitivas van más allá de las biológicas al poder construir nuevas estructuras (Piaget, 1978) que explicarían la capacidad humana de asignar significados internamente (Pozo, 2003). Por esta razón, se denominará a los modelos de enseñanza basados en la analogía orgánica "*modelos basados en la analogía del sujeto como constructor de significados*" (AcS) dado que es el elemento más diferenciador de los modelos AcC.

Para AcS, el significado es el "sentido", la "interpretación", el "entendimiento", el "saber qué hacer", la "identificación como algo ya vivido o que se sabe qué es o que ya se tiene" que asigna el sujeto a los significantes o informaciones que le llegan del medio. Para dicha asignación, el sujeto no sólo usa su sistema cognitivo, también el afectivo y biológico (Castilla del Pino, 2000; Marina, 1998).

Un distintivo básico de AcS frente a AcC es la distinción que establece entre información y conocimiento (Delval, 1997; Pozo, 2003). La información del medio, sea vivencial o simbólica, llega al sujeto carente de significado, por lo que requiere un proceso de asimilación para ser manipulada cognitivamente. Las estructuras cognitivas que permiten dar significado o sentido a la información que llega desde la interacción del sujeto con el medio se van construyendo paulatinamente. Este proceso constructivo se puede describir por procesos de abstracción empírica o reflexiva, asimilación y acomodación, conflictos, resistencias, desequilibrio y reequilibrio de las estructuras cognitivas, dado el desfase natural entre éstas y la información que llega de las interacciones con el medio (Delval, 1997; Piaget, 1978; Pozo, 1989). Por esta razón, hay que distinguir los significados inherentes e internos del sujeto de aquellos otros propios de los conocimientos compartidos y explicitados mediante sistemas simbólicos, como es el caso del conocimiento de ciencias, donde la combinación de símbolos y reglas gramaticales, integrados y organizados en redes conceptuales, facilita la asignación de significados compartidos a los expertos formados que profesan dicho sistema simbólico (Xxxx, 2003b; Marina, 1998).

Para interpretar el conocimiento del alumno, AcS mantiene una rigurosa actitud constructivista por considerar *conocimiento* y *realidad* dos categorías de naturaleza diferente, que no admiten correspondencias entre ambos, como sí lo haría el *realismo*. Y es que AcS mantiene una visión intermedia entre el realismo y el relativismo, al afirmar que el conocimiento se construye por la interacción entre sujeto y objeto, de modo que tan importante es la experiencia personal (enfaticada por el *empirismo*) como la actividad racional del sujeto (enfaticada por el *racionalismo*). Percibe que toda estructura cognitiva tiene una génesis (Delval, 1997) por lo que se aleja del *apriorismo* que sí admite estructuras innatas.

La visión que posee AcC del aprendizaje y de la organización cognitiva del alumno proviene de las supuestas analogías con el conocimiento de ciencias, esto explica que las propuestas AcC se fundamenten o se teoricen en la mayoría de los casos en HFC y como consecuencia se disponga en DC de una profusa literatura sobre visiones adecuadas (e inadecuadas) del conocimiento de ciencias (Xxxx, 2011). No ha sucedido lo mismo con la visión cognitiva del estudiante donde ha sido frecuente en los modelos de enseñanza fundamentados en AcC, no pronunciarse o dejar implícito el modelo cognitivo del alumno que se asume en la investigación (Castorina, 1998; Xxxx, 1999). No es difícil comprobar en la literatura de DC el tratamiento desigual, en cantidad y calidad, de la epistemología de la ciencia y del alumno (Xxxx, 2012).

Una exposición más amplia de los compromisos ontológicos y epistemológicos subyacentes en AcC y AcS se ha presentado en anteriores publicaciones (Xxxx, 2003b, 2005, pp 28-37).

Limitaciones y fortalezas de los modelos de enseñanza de las ciencias para fomentar

competencias

Perfilado el marco teórico, ontológico y epistemológico de los modelos de enseñanza AcC y AcS y el tipo de contenidos de ciencias que se deberían enseñar para fomentar competencias, es posible reflexionar y evaluar, en este caso desde un plano teórico, las limitaciones y fortalezas de estos modelos.

Limitaciones y fortalezas para fomentar *competencias científicas* desde la analogía del "alumno como científico" (AcC).

Al punto de vista AcC le asisten importantes razones de donde toma su fortaleza:

- ¿Cómo no desarrollar una educación científica y unas competencias científicas en el alumno acordes a como se desarrolla el conocimiento de ciencias? (Duit, 1999; Gil et al., 1999). En efecto, cualquier lista de competencias científicas que se propongan para fomentar en el alumno deberá ser coherente con la lista de competencias que se dan en el ámbito donde surge este conocimiento. Para precisar esta lista se podría utilizar recursos tomados de la HFC (Quintanilla, 2009; Vilches, Carrillo, & Fernández, 2009).
- Anteriormente se ha destacado el papel importante que tiene lo procedimental en el fomento de las competencias científicas. Una relevancia semejante se da con los procedimientos que se ponen en juego en la construcción y revisión de los conocimientos de ciencias. En este sentido la perspectiva AcC puede colaborar de forma decisiva señalando cuáles son los procedimientos más relevantes en el proceso constructivo de las ciencias y, dado que dichos procedimientos están muy bien interrelacionados con los contenidos conceptuales también podría aportar otras sugerencias para la enseñanza de las competencias.

Ahora bien, aun siendo necesarias las aportaciones de AcC, son claramente insuficientes para orientar la enseñanza de las *competencias científicas*; y es que si bien existen semejanzas entre la construcción de conocimiento de ciencias y del alumno, también existen notables diferencias (Xxxx, 2003a).

Sobre adquisición de contenidos específicos. La perspectiva AcC no tiene recursos suficientes para orientar la enseñanza de los contenidos específicos dado que su énfasis en tomar la HFC como fundamento, le lleva a notables carencias sobre aspectos psicológicos específicos a la construcción individual del conocimiento (Xxxx, 2011), así por ejemplo no existe ninguna teoría sobre el progreso científico que pueda anticipar o explicar los procesos individuales de abstracción tanto empírica como reflexiva (Piaget, 1978), los procesos de toma de conciencia y redesccripción cognitiva de los contenidos procedimentales implícitos (Pozo, 2003), la mecánica de asignación de significados individuales como proceso previo al aprendizaje (Pozo, 1996) o los procesos por los que se enriquecen los esquemas de conocimiento (Piaget, 1978; Vosniadou, 1999).

En definitiva, los problemas de abstracción, asignación de significados, toma de conciencia o redesccripción cognitiva pasan "desapercibidos" para la analogía AcC porque son procesos psicológicos exclusivos del conocimiento individual, que no aparecen en los procesos constructivos de ciencias ya que, por ser un conocimiento socialmente compartido, están abocadas a precisar sus significados y procedimientos mediante significantes y organizar sus estructuras conceptuales del modo más racional, consensuado y lógico posible (Pozo, 2003).

Sobre adquisición de contenidos procedimentales. Se ha comprobado que poco más del 20% de los alumnos al término de la secundaria (16 años) desarrolla el pensamiento formal (Shayer & Adey, 1984). Estas habilidades formales son requisito básico para alcanzar un buen número de competencias científicas (Lawson, 1994; Niaz, 1989; Shayer & Adey, 1993). El problema aparece cuando desde la perspectiva AcC se exige al alumno afrontar una y otra vez problemas mediante estrategias hipotético-deductivas donde deben estructurar los problemas con pensamiento

proporcional, controlar variables o saber contrastar una de ellas dejando constante el resto. Es previsible el fracaso del alumno si antes no se fomenta el desarrollo formal de su pensamiento.

Una condición básica para fomentar competencias es que las pertinentes actividades procedimentales no estén diseñadas con un nivel de exigencia muy por encima de las limitaciones procedimentales de los alumnos (Xxxx, 1991). Es importante conocer las capacidades procedimentales de su nivel cognitivo sobre todo si se pretende fomentar sus competencias científicas.

Así, propuestas sobre resolución de problemas o de laboratorio usando directamente procedimientos de la actividad científica (Gil, Martínez-Torregrosa, & Senent, 1988) deberían matizarse y ampliarse estableciendo nuevas condiciones de enseñanza que consideren factores tan significativos como el nivel operacional, la capacidad de la memoria operativa o el estilo cognitivo, entre otros (Niaz, 1989; Roth, 1990; Shayer & Adey, 1993).

Es dudoso que, como se defiende desde el AcC, las mejores condiciones para el aprendizaje sean creadas simulando en clase la actividad constructiva de los científicos (ver Pozo & Gómez Crespo, 1998); las diferencias entre los conocimientos de ciencias y del alumno son notables, ya nos centremos en los escenarios donde se hacen las construcciones cognitivas (Rodrigo, 1997) o en las mecánicas de construcción de ambos conocimientos (Xxxx, 2003a).

Y es que al abordar el problema de las competencias desde la analogía AcC parece existir cierta indistinción entre fines y medios. Las *competencias científicas* están al final del camino del proceso constructivo necesario que deberá llevar a cabo el aprendiz, por lo que habría que prestar más atención a este proceso psicológico, como se va a ver con la propuesta AcS.

Limitaciones y fortalezas para fomentar *competencias científicas* desde la visión del "sujeto como constructor de significados" (AcS).

100

La teoría que presenta mayor coherencia con la versión constructivista que presenta AcS, es la de Piaget (Delval, 1997; Xxxx, 2003b) y es la que será tomada de referente para entender los distintos tipos de aprendizajes que llevan al sujeto a tener una *actuación competente*. Esta teoría muestra algunas debilidades para fomentar competencias:

- En relación a los estadios de desarrollo cognitivo se han encontrado anomalías tales como que en el nivel formal no se llega a estructuras de conjunto, que es posible adelantarlos o que los esquemas operatorios no son tan determinantes en las respuestas del sujeto (Vuyk, 1985). La anomalía más estudiada es el denominado desfase piagetiano, como en general se denomina a toda reacción del sujeto que no puede ser explicada por su nivel operacional. Así, se ha comprobado que el contenido de una tarea es tan determinante como su estructura lógica, de modo que se encuentran diferentes patrones de respuestas de sujetos de un mismo nivel ante tareas con la misma estructura lógica y diferentes contenidos y variables (Coll, 1983; Xxxx, 1994). Parece ser que la descripción del pensamiento natural en términos de estructuras lógicas es insuficiente o quizás no sea la más adecuada.
- Aunque Piaget consideró la influencia social y le dedicó de hecho varias investigaciones (Delval, 2002), sin embargo, no consideró suficientemente el papel de las interacciones sociales en la construcción de las estructuras cognitivas o en la explicitación de contenidos implícitos (Pozo, 2003). Mientras que el sujeto piagetiano interactúa con un medio lleno de objetos sin más precisión, Vygotsky trata de explicar el desarrollo a través de la influencia exterior apreciando en el medio una diversidad de objetos. Así por ejemplo, las personas mediatizan y fomentan fuertemente las interacciones del sujeto con su medio, muchos objetos son herramientas construidas socialmente para facilitar las interacciones con el medio y existe un tipo especial de objetos -los significantes- que junto a sus significados individuales pero socialmente

compartidos, facilitan la adquisición del acervo cultural y la explicitación de las estructuras implícitas del sujeto.

A pesar de estas limitaciones, frente a AcC, muestra importantes ventajas para fomentar competencias:

Sobre adquisición de contenidos específicos. Para que dichos contenidos puedan ser usados por el alumno en el desarrollo de una competencia científica es preciso que sean integrados en sus esquemas de conocimiento. Esta integración será difícil de lograr sólo con una enseñanza de significantes. De la teoría de Piaget se pueden deducir algunas orientaciones didácticas para lograr la integración de los contenidos específicos, lo que necesariamente va a suponer nuevas construcciones cognitivas. Veamos dos de ellas:

- *Orientar la enseñanza hacia la elaboración de significados supone provocar nuevas construcciones cognitivas, lo que difícilmente se consigue con una enseñanza de significantes.* La información es un mero conjunto de significantes (enlazados con adecuadas reglas gramaticales) que para convertirse en conocimiento requiere, en primer lugar, la asignación de un significado y, por otro, su integración en algún esquema por un doble proceso de asimilación y acomodación (Xxxx, 2005). Por esta razón, una enseñanza excesivamente polarizada en los significantes es tan rígida e incapaz de transferir lo adquirido ya que sobre todo da lugar al uso de procesos nemotécnicos.
- *Crear nuevas estructuras cognitivas requiere la implicación afectiva del alumno para afrontar conflictos y desequilibrios cognitivos creados por actividades donde interacciona en diversidad de situaciones.* Los recursos de la teoría de Piaget son especialmente potentes para explicar la creación de estructuras cognitivas a partir de procesos de equilibración, asimilación y acomodación, etc., constructos extrapolados de los organismos vivos al plano de la adquisición del conocimiento (Piaget, 1978).

Sobre adquisición de contenidos procedimentales. Son muchos los trabajos que han mostrado la importancia de los esquemas operatorios para desarrollar capacidades procedimentales en el alumno. Veamos algunas orientaciones didácticas:

- *Crear estructuras operatorias supone estrategias de confrontación que provoquen desequilibrios reiterados en una diversidad de contenidos y variaciones de los factores que intervienen en las actividades.* El constructo "esquema operacional" central en la teoría de Piaget se percibe muy relevante en las competencias científicas (Lawson, 1993b; Niaz, 1989; Piaget & Inhelder, 1976). Los procesos constructivos de abstracción reflexiva por los que se forman estos esquemas permiten estrategias de enseñanza imposibles en otras teorías que no "perciben" este constructo.
- *Tomar conciencia de los contenidos implícitos de un esquema se realiza desde las regulaciones internas del sujeto ante la consecución de un logro y la reflexión sobre los medios usados. Esta explicitación aporta al sujeto más control en su capacidad procedimental, el enriquecimiento del esquema en extensión y la coordinación de éste con otros esquemas.* La existencia de contenidos cognitivos implícitos (Piaget, 1976; Reber, 1993; Karmiloff-Smith, 1994; Pozo, 2003) en la mente del sujeto, tan importante para entender las habilidades y competencias, desestima la opción AcC dado que al tener visiones excesivamente explícitas del conocimiento del alumno, carece de recursos para explicar los procesos de explicitación tan importantes tanto en la filogénesis como en la ontogénesis del sujeto (Pozo, 2003).

Reflexiones para fomentar las competencias científicas

La primera conclusión y más importante que parece desprenderse del análisis realizado es que "según cómo se conceptualice teóricamente al aprendiz, así se abordará de un modo u otro los

problemas de enseñanza para fomentar las competencias de ciencias"; para ilustrar esta afirmación, se han visto dos modos distintos de afrontar la enseñanza de las ciencias que pretenden fomentar competencias.

Para hacer una aproximación a la noción de competencia, es importante diferenciar con decisión entre el plano de las características biológicas, cognitivas y afectivas del sujeto competente y el plano práctico donde se localiza la demanda específica donde se va a desarrollar la actuación competente, para a continuación precisar que la competencia está en la zona de interacción del interior con el exterior del sujeto. No hay competencia sin sujeto, como tampoco la hay sin resultado externo al sujeto. La competencia suele estar vinculada a valores o reconocimientos sociales.

En concreto, las competencias científicas requieren la enseñanza de dos tipos de contenidos diferentes: específico y general. El primero es difícil puesto que debe quedar integrado en los esquemas de conocimiento previos y para ello es necesario pasar la información del libro de texto o del profesor a conocimiento propio del alumno; el segundo es aún más difícil pues supone la construcción de esquemas de orden superior a los específicos y como menos requieren de largo tiempo y un modo reiterado de interactuar con los materiales cognitivos específicos.

No cabe duda: intentar fomentar competencias científicas es un proceso complejo que se dilata en el tiempo, supone aprendizajes difíciles y resulta costoso llegar a grados de actuar competente satisfactorios. Sí además, el intento se lleva a cabo sin mucho sustrato teórico, predominando las tentativas empíricas, los resultados van a quedar aún más cortos que si se afronta el reto con una buena base teórica. Es cierto que la reflexión teórica que se hace aquí apenas contiene datos empíricos o experiencias de aula, pero se nos antoja necesaria para afrontar con mayores garantías de éxito el fomento de competencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Barba, R. H., & Rubba, P. A. (1993). Expert and novice, earth and space science: teachers' declarative, procedural and structural knowledge. *International Journal of Science Education*, 15(3), 273–282.
- Case, R. (1983). El desarrollo intelectual: una reinterpretación sistemática. In M. Carretero & J. A. García Madruga (Eds.), (pp. 339–362). Madrid: Alianza Editorial.
- Castilla del Pino, C. (2000). *Teoría de los sentimientos*. Barcelona: Tusquets.
- Castorina, J. A. (1998). Aprendizaje de la ciencia: constructivismo social y eliminación de los procesos cognitivos. *Perfiles Educativos*, 20(82), 24–39.
- Claxton, G. (1994). *Educación mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Visor.
- Coll, C. (1983). La construcción de esquemas de conocimiento en el proceso de enseñanza/aprendizaje. In C. Coll (Ed.), (pp. 183–201). Madrid: Siglo XXI.
- Coll, C. (1992). Constructivismo e intervención educativa: "¿Cómo enseñar lo que ha de construirse?" *Aula de Innovación Educativa*, 2, 79–82.
- Delors, J. (1996). *La Educación encierra un tesoro*. Madrid: Santillana, Unesco.
- Delval, J. (1997). Tesis sobre el constructivismo. In M. J. Rodrigo & J. Arnav (Eds.), (pp. 15–24). Barcelona: Paidós.
- Delval, J. (2002). Vygotsky y Piaget sobre la formación del conocimiento. *Investigación en la Escuela*, 48, 13–38.

- Driver, R. (1983). *The pupil as scientist*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in Science Education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), (pp. 263–282). Londres: Elsevier.
- Gallego, R. (2000). *El problema de las competencias cognitivas: una discusión necesaria*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.
- Gil, D., Carrascosa, J., Carré, A. D., Furio, C., Gallego, R., Gené, A., ... Valdés, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503–512.
- Gil, D., Martínez-Torregrosa, J., & Senent, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de Física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 131–146.
- Hernández, C. A. (2005). ¿Qué son las "competencias científicas"? In *Competencias Científicas*. Presented at the ¿Qué son las "competencias científicas"?, Bogotá, Colombia: Ministerio de Educación Nacional.
- Inhelder, B., Sinclair, M., & Bovet, M. (1974). *Aprendizaje y estructuras de conocimiento*. Madrid: Morata.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2000). Modelos Didácticos. In F. J. Perales & P. Cañal (Eds.), (pp. 165–186). Alcoy: Marfil.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Sanmartí, N. (1997). ¿Qué ciencia enseñar?: objetivos y contenidos de la Educación Secundaria. In L. Del Carmen (Ed.), (pp. 17–46). Barcelona: ICE/Horsori.
- Karmiloff-Smith, A. (1994). *Más allá de la modularidad*. Madrid: Alianza.
- Lavoie, D. R. (1993). The development, theory, and application of a cognitive-network model of prediction problem solving in biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 767–785.
- Lawson, A. E. (1993a). Deductive reasoning, brain maturation, and science concept acquisition: Are they linked? *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (9), 1029–1051.
- Lawson, A. E. (1993b). Inductive-deductive versus Hypothetico-deductive reasoning: A reply to Yore. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (6), 613–614.
- Lawson, A. E. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 165–187.
- Marina, J. A. (1998). *La selva del lenguaje*. Barcelona: Anagrama.
- Mayer, R. E. (1986). *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. Barcelona: Paidós.
- Morín, E. (2001). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Barcelona: Paidós.
- Niaz, M. (1989). The relationship between M-Demand, Algorithms, Problem Solvin: A Neopiagetian Analysis. *Journal of Chemical Education*, 66(5), 422–424.
- OCDE. (2008). La definición y selección de competencias clave. Retrieved September 11, 2010, from <http://www.deseco.admin.ch/bfs/deseco/en/index/03/02.html>

- OCDE. (2009). PISA Assessment Framework: Key competencies in reading, mathematics and science. Retrieved February 14, 2011, from <http://www.oecd.org/dataoecd/11/40/44455820.pdf>
- Oliva, J. M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias, 17* (1), 93–108.
- Pascual-Leone, J. (1983). Problemas constructivos para teorías constructivas. In M. Carretero & J. A. García Madruga (Eds.), (pp. 363–392). Madrid: Alianza Editorial.
- Piaget, J. (1976). *La toma de conciencia*. Madrid: Morata.
- Piaget, J. (1977). *Epistemología genética*. Argentina: Solpin.
- Piaget, J. (1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas, "Problema central del desarrollo"*. Madrid: Siglo XXI.
- Piaget, J., & García, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Mexico: Siglo XXI.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1976). *Génesis de las estructuras lógicas elementales, "Clasificaciones y seriaciones"*. Buenos Aires: Guadalupe.
- Pintrich, P. R. (1999). Motivational Beliefs as Resources for and Constraints on Conceptual Change. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), (pp. 33–50). Londres: Elsevier.
- Pomes Ruiz, J. (1991). La metodología de resolución de problemas y el desarrollo cognitivo: un punto de vista postpiagetiano. *Enseñanza de las Ciencias, 9*(1), 78–82.
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I. (1996). No es oro todo lo que reluce ni se construye (igual) todo lo que se aprende: contra el reduccionismo constructivista. *Anuario de Psicología, 69*, 127–139.
- Pozo, J. I. (2003). *La adquisición de conocimiento*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.
- Pozo, J. I., & Pérez Echeverría, M. P. (2009). *Psicología del aprendizaje universitario: la formación en competencias*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I., & Postigo, Y. (1994). La solución de problemas como contenido procedimental de la Educación Obligatoria. In J. I. Pozo (Ed.), (pp. 180–213). Madrid: Santillana. Aula XXI.
- Pozo, J. I., Scheuer, N., Pérez Echeverría, M. P., Mateos, M., Martín, E., & Cruz, M. D. la. (2006). *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje*. Barcelona: Grao.
- Quintanilla, M. (2009). Enseñar y aprender a escribir historias de la ciencia para desarrollar competencias de pensamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra*(VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Barcelona), 3578–3581.
- Reif, F., & Larkin, J. H. (1991). Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching, 28* (9), 733–760.
- Rodrigo, M. J. (1997). Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. In M. J. Rodrigo & J. Arnay (Eds.), (pp. 177–194). Barcelona: Paidós.
- Roth, W. M. (1990). Neo-piagetian predictors of achievement in physical science. *Journal of Research in Science Teaching, 27* (6), 509–521.

- Rumelhart, D. E., & Ortony, A. (1982). The representation of knowledge in memory. *Infancia y aprendizaje*, 20, 115–158.
- Shayer, M., & Adey, P. S. (1984). *La ciencia de enseñar Ciencia, "Desarrollo cognoscitivo y exigencias del curriculum"*. Madrid: Narcea.
- Shayer, M., & Adey, P. S. (1993). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students IV: three years after a two years intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (4), 351–366.
- Solomon, J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23, 1–19.
- Tobón, S. (2006). *Formación basada en competencias: Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. Bogotá: Ecoe.
- Vilches, J., Carrillo, F., & Fernández, I. (2009). Introducción de la epistemología de la ciencia en los currícula de magisterio para el desarrollo de las competencias científicas necesarias en la práctica docente. análisis de la realidad. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra*(VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Barcelona), 1134–1137.
- Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: state of the art future directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), (pp. 3–14). Londres: Elsevier.
- Vuyk, R. (1985). *Panorámica y crítica de la epistemología genética de Piaget 1965-1980*. Madrid: Alianza Universitaria.
- Yalile Sánchez, H. (2007). La solución de problemas como un campo de concurrencia de distintas teorías en Psicología. *Revista Colombiana de Psicología*, 16, 147–162.
- Yang, W. G. (1999). An Analysis of "Pupil as Scientist" Analogies. In *Science as Culture. Bicentenary of the Invention of the Battery by Alessandro Volta* (pp. 15–19).
- Xxxx, . (1991).
- Xxxx, . (1994).
- Xxxx, . (2003a).
- Xxxx, . (2003b).
- Xxxx, . (2005).
- Xxxx, . (2010).
- Xxxx, . (2012).
- Xxxx, . (1999).
- Xxxx, . (2011).
- Xxxx, . (2011).
- Xxxx, . (1999).
- Xxxx, . (2012).
- Xxxz, , & Xxxx,. (2012).
- Xxxz, , Xxx,. (2006).